



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE DUAS ÁREAS DE PRODUÇÃO**  
**AGROPECUÁRIA, UTILIZANDO PENETRÔMETRO ELETRÔNICO, NO**  
**MUNICÍPIO DE AREIA-PB.**

**JOSÉ RONALDO BEZERRA JÚNIOR**

**AREIA – PB**  
**MARÇO DE 2015**

**JOSÉ RONALDO BEZERRA JÚNIOR**

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE DUAS ÁREAS DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA, UTILIZANDO PENETRÔMETRO ELETRÔNICO, NO  
MUNICÍPIO DE AREIA-PB.**

Trabalho apresentado à coordenação do curso de graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, em observância às exigências para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**Orientador: Prof. Dr. Maurício Javier de León**

**AREIA – PB  
MARÇO DE 2015**

**JOSÉ RONALDO BEZERRA JÚNIOR**

**COMPARAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE DUAS ÁREAS DE PRODUÇÃO  
AGROPECUÁRIA, UTILIZANDO PENETRÔMETRO ELETRÔNICO, NO  
MUNICÍPIO DE AREIA-PB.**

**BANCA EXAMINADORA**

**Aprovada em: 12 de Março de 2015**

---

Prof. Dr. Maurício Javier de Léon  
DSER/CCA/UFPB  
-Orientador-

---

Prof. Msc. Francisco De Assis Pereira Ramos  
DSER CCA UFPB  
Examinador

---

Mestrando. Flavio Rangel Almeida  
DSER CCA UFPB  
Examinador

## ***EPÍGRAFE***

***“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.***  
***(Marthin Luther King)***

## ***DEDICATÓRIA***

***Dedico a Deus e à minha família.....***

## **AGRADECIMENTOS...**

*A Deus, por tudo de maravilhoso que proporciona em minha vida, estando sempre ao meu lado, concedendo saúde e confiança, guiando-me em minhas decisões e dando forças.*

*... à minha irmã Tamy Emanuella M. Bezerra, por todo seu amor, que não mediu esforços para me proporcionar a melhor educação, companheirismo, orientação, demonstrados ao longo de minha vida.*

*...à minha esposa Giselle Silva Sezinando pelo companheirismo, pela dedicação, me direcionando e incentivando para seguir em frente.*

*...à minha filha Maria Alice pelo amor incondicional e pelo incentivo que ao chegar a esse mundo me transformou e me motivou a seguir em frente com mais garra.*

*... à minha mãe Lucelene Barbosa Matias, que sempre me incentivou a alcançar meus objetivos, demonstrando sempre carinho e atenção nas horas mais difíceis da minha vida.*

*...ao meu Pai, que sempre mostrou responsabilidade em tudo que faz, me ensinando os valores da vida e sendo um exemplo de profissional.*

*aos meus irmãos, Renato Patrick e Cicília Daniella pelo por serem ótimos irmão trazendo alegria e proporcionando bons momentos.*

*... ao meu Orientador Maurício Javier de Léon, agradeço pela contribuição oferecida para minha formação profissional, pela paciência, pela amizade, pelos conselhos, críticas e incentivo.*

*... ao meu amigo Ícaro Sampaio, agradeço pela grande contribuição oferecida para minha formação profissional e pessoal, pela amizade demonstrada,*

*... a todos os colegas de turma, sem exceção, e a todos os amigos que de alguma forma contribuíram para minha formação acadêmica.*

*... ao Centro de Ciências Agrárias e à Universidade Federal da Paraíba por me concederem a honra de me tornar membro desta casa e sair dela com o título de Engenheiro Agrônomo.*

*... a todos os professores e demais funcionários do CCA/UFPB que muito contribuíram para minha formação profissional.*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
2.1. Geral.....	2
2.2. Específicos .....	2
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
3.1. Compactação do solo .....	2
3.2. Textura do solo .....	3
3.3. Resistência mecânica do solo a penetração .....	3
3.4. Geoestatística .....	4
3.5. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo .....	5
3.6. Agricultura de precisão .....	6
3.7. Semivariogramas .....	7
3.8. Penetrômetro eletrônico .....	8
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>9</b>
4.1. Localização da área experimental.....	11
4.2. Relevo e solos .....	11
4.3. Amostragem da área .....	11
4.4. Avaliação da Resistência Mecânica do Solo a Penetração (RMSP).....	11
4.5. Determinações físicas do solo.....	12
4.5.1. <i>Textura do solo</i> .....	12
4.6. Análise estatística .....	12
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>18</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>19</b>

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1.** Resultado textural, do solo coletado no campo experimental da UFPB em Areia-PB e utilizado para a pesquisa. .... 13

**Tabela 2.** Pressão média (kpa)  $\pm$  Erro padrão em diferentes profundidades e na área total (AT) de duas áreas com exploração agropecuária. Areia, PB. .... 16



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa do município de Areia-PB.....	9
<b>Figura 2.</b> Área de produção agrícola com recente manejo do solo (aração e gradagem) localizada em Areia, PB.....	10
<b>Figura 3.</b> Área de pastagem com produção de gramíneas ( <i>Brachiaria decumbens</i> ), Areia, PB.....	10
<b>Figura 4.</b> Penetrômetro eletrônico.....	11
<b>Figura 5.</b> Resistência do solo à penetração ao longo do perfil do solo até 40 cm de profundidade, em área agrícola e de pastagem.....	14
<b>Figura 6.</b> Pressão média (kPa) em diferentes profundidades de duas áreas com exploração agropecuária. Areia, PB. Médias seguidas de mesma letra minúscula e maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey <0,01.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

**BEZERRA JÚNIOR, J. R. Comparação da resistência de duas áreas de produção agropecuária, utilizando penetrômetro eletrônico, no município de Areia-PB.** Areia, PB, 2014. Graduação em Agronomia. Orientador: Prof. Dr. Maurício Javier de Léon. (Monografia, 36p.)

## **RESUMO**

Durante os últimos anos o Brasil tem se tornado um mercado consumidor de máquinas e implementos agrícolas devido ao seu potencial de produção ter sido aumentado com o avanço da genética e o melhoramento das espécies cultivadas em nosso país, por este motivo o uso intensivo de terras agricultáveis para a produção de alimentos como grãos e bioenergia como o combustível derivado da cana de açúcar, tem acelerado o processo de degradação dos solos em especial nos seus atributos físicos. Este problema vem crescendo paulatinamente devido ao uso intensivo de máquinas agrícola e o frequente tráfego das mesmas, consequência do curto período de produção advindo do melhoramento genético. A partir destas observações a resistência mecânica do solo, a penetração se mostra como parâmetro de avaliação da qualidade física deste como consequência do uso intenso de máquinas agrícolas, em especial as operações de colheita que estão diretamente ligadas à agricultura de precisão. A pesquisa foi conduzida em duas áreas, uma com exploração agrícola e a outra com exploração animal medindo aproximadamente 1 ha cada, situadas no campo experimental da Universidade Federal da Paraíba localizado no município de Areia – PB. Para as características físicas foram coletadas 10 amostras na profundidade de 0,10 – 0,20 m e na avaliação da resistência mecânica do solo a penetração foram amostrados 74 pontos distanciados entre si em 20m nas seguintes profundidades 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40cm Utilizou-se o medidor manual de compactação do solo Falker Penetrolog® PLG1020, com haste e cone tipo 2. Os resultados das análises mostram que na área onde ha exploração agropecuária a mesma encontra-se mais compactada nas camadas compreendidas nas profundidades entre 0,20 a 0,40 cm, o mesmo ocorre para a área com exploração agrícola porem com valores inferiores. Comparando os efeitos da resistência à penetração entre as duas áreas de produção conclui-se que embora haja diferentes manejos entre as áreas estatisticamente não diferiram entre si.

**Palavras-chave:** Agricultura de precisão, Penetrômetria, Geoestatística, compactação do solo.

BEZERRA JÚNIOR, J. R. **Comparison of soil penetration resistance on two different crop and animal production areas using an electronic penetrometer, on Areia-PB county**, . Areia, PB, 2014. Graduation in Agronomy. Advisor: Prof. Dr. Maurício Javier de León. (Monograph, 36p.)

## **ABSTRACT**

During the recent years Brazil has become a consumer market of machinery and agricultural implements due to its production potential has been increased with the advancement of genetics and the improvement of farmed species in our country, with the intensive use of arable soil for the production of foods such as grains and bioenergy as fuel derived from sugar cane, has accelerated the process of soil degradation in particular its physical attributes. This problem has grown due to the intensive use of agricultural machinery and the frequent traffic of same, and due to the short period of production from the upgrade genetic. From these observations the mechanical resistance of the soil, if penetration shows how parameter for evaluating the physical quality of this as a consequence of heavy use of agricultural machines, in particular crops that are directly connected the precision agriculture. The survey was conducted in two areas, one with agriculture exploration and the other with animal exploitation measuring approximately 1 ha each, situated in the experimental field of the Federal University of Paraíba located on Areia-PB County. For sandy, silty and clay solis 10 samples were collected at e depths of 0.10-0.20 m and to the mechanical resistance of the soil to penetration were sampled 74 points distanced each other 20 m in the depth 0.01-0.40 m. We used the manual soil compaction meter Falker Penetrolog® PLG1020, with rod and cone type 2. The results of the analyses show that in the area where exploration farming the same is more compressed in the depths of 0.20 to 0.40 cm, the same occurs to the area with farming but with values inferior. Considering that a comparison was made between the two activity areas farming proved to be more aggressive in terms of compression.

**Keywords:** precision agriculture, Penetrometer, Geoestatics soil compaction.

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é tido como principal meio para a produção agrícola visto que há outras formas para se produzir determinadas culturas. Com o avanço da tecnologia em máquinas agrícolas o produtor que para aumentar sua produção, diminuir os custos e minimizar o tempo de preparo do solo e de colheita vem se adaptando ao uso destas máquinas. Porém o uso de Semeadoras, colhedoras, bem como o uso de grades niveladoras e arado de disco pode causar, ao longo do tempo, compactação do solo (NOLASCO *et al*, 2010).

O estado físico do solo como macroporosidade; microporosidade; permeabilidade; infiltração e movimento de água no perfil; trocas gasosas; atividade biológica e mineralização de carbono, dentre outros aspectos são atributos importantes para a implantação e desenvolvimento de culturas. Uma vez que o impedimento causado pela compactação dificulta o bom desenvolvimento das raízes ocasionando a não obtenção do potencial das plantas em termos reprodutivos (MIGUEL *et al*, 2007).

Um parâmetro importante para a caracterização do perfil e manejo do solo é a resistência mecânica à penetração do mesmo. A identificação da camada com resistência é importante para obter informações sobre o estado físico do solo visando minimizar os problemas como erosão e diminuição dos microporos, com isso haverá uma melhora na absorção de nutrientes e uma melhor eficiência da adubação (SOUZA, 2004).

O manejo inadequado do solo utilizado por alguns agricultores em culturas de ciclo médio e longo influenciam no arranjo granulométrico por cargas verticais impostas pelo tráfego de máquinas agrícolas que são transmitidas pelos seus rodados. Atualmente, os problemas de compactação do solo têm sido uma preocupação por parte dos agricultores e, coincidentemente, tais problemas começam a chamar atenção nas áreas em que a prioridade dos trabalhos com máquinas e implementos se restringe ao rendimento operacional (ha/h), e à qualidade do trabalho com o solo, ou seja, o manejo adequado do solo tem sido considerado como secundário (MAN, 1986).

Para identificar camadas compactadas, o penetrômetro é o instrumento que, por meio do valor da resistência do solo à penetração, mede a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (BEUTLER *et al.*, 2007; ROBOREDO *et al*, 2010). Diante do

exposto este trabalho tem como objetivo identificar regiões de elevada resistência à penetração que podem indicar possíveis áreas compactadas no solo de duas áreas distintas localizadas no Brejo paraibano com produção pecuária e agrícola sujeitas às influências tanto do pisoteio animal como da utilização de maquinário agrícola.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

- Identificar áreas com elevada resistência à penetração e passíveis de compactação observando parâmetros como a estrutura do solo, propriedade físicas, etc. utilizadas em produção pecuária e na implantação de culturas.

### **2.2. Específicos**

- Avaliar os efeitos do grau de mecanização utilizado na área identificada como área de produção agrícola e suas implicações sobre o aumento da resistência mecânica do solo à penetração;
- Avaliar a diferença em termos dos modelos de produção adotados em cada uma das áreas para efeitos comparativos.

## **3. REVISÃO DE LITERATURA**

### **3.1. Compactação do solo**

Com o avanço da tecnologia em máquina agrícola, que para facilitar o preparo do solo bem como da colheita o produtor tem adquirido novos equipamentos, os mesmos se utilizados de forma incorreta ou seu uso excessivo sem o manejo adequado irão causar a degradação do solo. Vários autores citam seu impacto na produção e produtividade agrícola, nas propriedades físicas do solo e na distribuição e crescimento de raízes (FOLONI *et al*, 2006; SCHÄFFER *et al*, 2007; TABOADA & ALVAREZ, 2008). O termo compactação do solo refere-se ao processo que descreve o decréscimo de volume de solos não saturados quando uma determinada pressão externa é aplicada, a qual pode ser causada pelo tráfego de máquinas agrícolas, equipamentos de transporte ou animais (LIMA, 2004).

Outro fator que na hora do preparo do solo é importante saber é a umidade do terreno, pois caso haja umidade em excesso no solo haverá uma maior compactação. Para evitá-la o preparo do solo deve ser efetuado em condições de friabilidade

(RESENDE,1997), na qual este apresenta baixa resistência ao preparo e alta a moderada capacidade de suporte de carga e resistência à compressão (LARSON *et al*, 1994).

Algumas forças externas que podem causar a compactação do solo ainda podem ser citadas, como o impacto da gota de chuva; o pisoteio do gado quando há uma lotação de animais no pasto, as operações de preparo do solo quando há uma umidade excessiva e a predisposição geomorfológica de alguns solos, por exemplo.

### **3.2. Textura do solo**

A parte mineral do solo é constituída de partículas originadas do intemperismo das rochas, tal fato faz referência ao conjunto de todas as frações ou partículas do solo, incluindo desde as mais finas de natureza coloidal (argilas), até as mais grosseiras (calhaus e cascalhos, matacões). O termo textura, por sua vez, é empregado especificamente para a composição granulométrica da terra fina do solo (fração menor que 2mm de diâmetro) (KITAMURA, 2004).

De acordo com os conteúdos de areia, silte e argila, estimados em campo ou determinados com análises de laboratório, são caracterizadas então as seguintes classes de textura: areia, silte, argila. A textura no campo é avaliada em amostra de solo molhada, através de sensação de tato, esfregando-se a amostra entre os dedos após amassada e homogeneizada. A areia dá sensação de atrito, o silte de sedosidade e a argila, de plasticidade e pegajosidade. Em geral, quanto maiores as partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação (MACEDO *et al*, 2010).

### **3.3. Resistência mecânica do solo a penetração**

Com o aumento da produtividade e a diminuição dos ciclos das culturas, o uso de máquinas para o preparo e para a colheita vem sendo cada vez mais utilizado em função da necessidade. Com isso, o grande fluxo de máquinas e implementos agrícolas podem contribuir para a compactação do solo, como evidenciado por Ralisch *et al* (2008). Sendo assim, o tráfego intensivo de máquinas é o principal responsável pelo aumento da densidade e resistência do solo à penetração (RESENDE SILVA *et al*, 2011), diminuição da macroporosidade e condutividade hidráulica (SUZUKI *et al*., 2007), resultando na compactação do solo e alterando o meio onde o sistema radicular se desenvolve (MARCHÃO *et al*, 2007).

Um dos atributos físicos mais adotados como indicativo da compactação do solo tem sido a resistência do solo à penetração (STONE *et al*, 2002), por apresentar relações

diretas com o crescimento das plantas (HOAD *et al*, 2001) e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (STRECK *et al*, 2004).

A resistência do solo à penetração expressa o grau de compactação e por consequência a facilidade com que as raízes penetram no solo (FUENTES LLANILLO *et al*, 2006). A qualidade do solo é função de alguns atributos que promovem o bom desenvolvimento das raízes, tais como: infiltração e movimento de água no perfil, trocas gasosas, atividade biológica e mineralização de carbono. Todos esses fatores são, em parte, relacionados com as propriedades e os processos físicos do solo (CARVALHO *et al*, 2008).

Podemos dizer que uma alta resistência mecânica do solo à penetração impedirá que as raízes se desenvolvam prejudicando também o desenvolvimento por completo da planta e diminuindo a absorção de nutrientes, água e trocas gasosas consequentemente haverá uma queda da produção e causará danos econômicos.

### **3.4. Geoestatística**

Os primeiros trabalhos em geoestatística surgiram com Daniel G. Krige, pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração (DELFINER & DELHOMME, 1975). Era preciso considerar a distância entre as observações sendo assim, a geoestatística leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial (CAMARGO *et al*, 2004a; LEAL *et al*, 2010).

Atualmente a aplicabilidade e a utilização da geoestatística como metodologia de análise de dados no espaço ou no tempo estão difundidas em vários ramos da ciência, envolvendo áreas de ciências humanas, biológicas e exatas. Em especial, na aplicação crescente na ciência do solo, tornando-se ferramenta adicional no estudo de seus atributos espacialmente correlacionados, exatamente porque incorpora em si a possibilidade de se estudar o comportamento da variabilidade espacial, permitindo a interpretação dos resultados com base na estrutura dessa variabilidade (CAVALCANTE *et al*, 2007).

A análise da variabilidade do solo, por meio da geoestatística, pode indicar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade do solo sobre a produção das culturas (TRANGMAR *et al*, 1985), mas também para aumentar a

possibilidade de estimar respostas das culturas sob determinadas práticas de manejo (OVALLES & REY, 1994). Os procedimentos iniciais da análise incluem o conjunto de métodos genéricos de análise exploratória e a visualização dos dados, em geral, por meio de mapas.

Avanços tecnológicos na agropecuária têm mostrado a importância de se conhecer a variação espacial e temporal de propriedades que afetam a produtividade das culturas, com o objetivo de otimizar o aproveitamento de recursos e diminuir custos (CARVALHO *et al*, 2002).

A geoestatística tem formado opiniões de como ela é eficiente no suporte à decisão de manejo, pois é utilizada para estudar a variabilidade espacial e temporal de atributos de solo, planta e clima, possibilitando a interpretação dos resultados com base na estrutura da variabilidade obtida nos mapas (SILVA, 2006).

### **3.5. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**

O solo normalmente por mais uniforme que seja, apresenta variações nos atributos físicos e químicos. Mesmo em áreas consideradas homogêneas e até pertencentes a uma mesma classe de solo existe variação espacial de determinados atributos a curtas distâncias, em grau suficiente para interferir na produtividade das culturas. Considerando que essa variabilidade deve necessariamente ser incorporada aos procedimentos e técnicas aplicados na agricultura, faz-se necessário conhecê-la para otimizar a aplicação de corretivos, fertilizantes, água, entre outros aspectos; e reduzir, portanto, as despesas com coletas de amostras no campo e, conseqüentemente, com análises laboratoriais. Em se tratando de ensaios no campo, o conhecimento sobre a variabilidade é importante porque, em muitos casos, ela pode influenciar na interpretação de efeitos de tratamentos (SILVA *et al*, 2003).

A heterogeneidade é uma característica intrínseca dos solos, porém o cultivo resulta em alterações aumentando ainda mais a variabilidade nos seus atributos (SANTOS *et al*, 2006). Assim, o conhecimento da variabilidade dos atributos do solo, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo localizado das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO & VIEIRA, 2005). Segundo Simões *et al* (2006), ressalta que, dentre outros, os atributos físicos do solo influenciam diretamente no crescimento e desenvolvimento das culturas.

A variabilidade do solo é consequência de complexas interações dos fatores e processos de sua formação. Além dos fatores e processos, práticas de manejo do solo e



da cultura são causas adicionais de variabilidade (CORÁ, 1997). Áreas pedologicamente idênticas podem apresentar variabilidade distinta em atributos, quando submetidas às diferentes práticas de manejo.

O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo em determinada área é importante para o refinamento das práticas de manejo e avaliação dos efeitos da agricultura sobre a qualidade ambiental (CAMBARDELLA *et al*, 1994). A variabilidade de um atributo pode ser classificada de acordo com a magnitude do seu coeficiente de variação, que pode ser: (a) baixa, quando menor que 10 %; (b) média, quando entre 10 e 20 %; (c) alta, quando entre 20 e 30 %; e (d) muito alta, se maior que 30 % de acordo com Pimentel-Gomez & Garcia (2002).

Observa-se que a variabilidade espacial de atributos físicos do solo é importante, porque irá determinar o uso eficiente dos adubos e dos recursos naturais tendo em vista que diminuindo os custos com o preparo do solo bem como na aplicação dos fertilizantes, o custo com a implantação da cultura será menor maximizando o lucro do produtor.

### **3.6. Agricultura de precisão**

Com a globalização da economia tornou-se necessário fazer um maior controle das informações dentro das áreas de cultivo, para que haja um maior controle na utilização de insumos, bem como dos recursos naturais como solo e água. De acordo com Petilio *et al* (2007) a Agricultura de Precisão consiste de um ciclo de análise da produtividade do solo através da coleta e análise das características do solo através de coleta de amostras ou imagens de satélite, controle preciso da aplicação de insumos e correção da terra e controle preciso da plantação e da aplicação de agrotóxicos.

A agricultura de precisão é a tecnologia cujo objetivo consiste em aumentar a eficiência, com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura. A agricultura de precisão não consiste simplesmente na habilidade em aplicar tratamentos que variam de local para local, porém, ela deve ser considerada com a habilidade em monitorar e acessar a atividade agrícola, precisamente em um nível local, tanto que as técnicas de agricultura de precisão devem ser compreendidas como uma forma de manejo sustentável, na qual as mudanças ocorrem sem prejuízos para as reservas naturais, ao mesmo tempo em que os danos ao meio ambiente são minimizados. Além de útil a agricultura de precisão, esta definição engloba a ideia de compromisso no uso da terra,

relativamente às gerações futuras. Um manejo sustentável implica algo mais além da manutenção dos índices de produtividade (MANTOVANI et al., 1998).

Segundo Lamparelli (2001), surge a Agricultura de Precisão, envolvendo o uso das chamadas geotecnologias como sistemas de posicionamento global (GPS – *Global Positioning System*); sistemas informatizados de coleta de dados; sensores remotos locais; orbitais e não orbitais; *softwares* para tratamento e mapeamento destes dados (Sistema de Informações Georeferenciadas – SIG); e ainda, os sistemas eletrônicos de acionamento, controle e automação de máquinas agrícolas. A utilização da tecnologia, agricultura de precisão, está diretamente relacionada com a variabilidade espacial e temporal de diversas variáveis do solo (composição química e composição física), das plantas (cultivar, densidade de plantio, nutrientes absorvidos, ataque de ervas, fungos, insetos), do clima (temperatura, umidade, luminosidade, vento), externos (invasão de animais), e gerenciamento de operações que influenciam na produtividade de uma cultura.

Com isso, a agricultura de precisão vem se tornando cada vez mais necessária ao homem do campo que hoje com a aquisição de novas tecnologias está minimizando o tempo da produção diminuindo os custos e preservando os recursos naturais como solo e água.

### **3.7. Semivariogramas**

Alguns métodos geoestatísticos são utilizados como estimadores, e sua autocorrelação espacial são utilizados como ferramentas de continuidade espacial. Para tal uso existem opções geoestatísticas como o variograma ou semivariograma, covariograma e o correlograma que são utilizadas para avaliar a magnitude da correlação espacial entre as amostras e sua similaridade ou não com a distância (ZIMBACK, 2003). Sendo assim, o semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de interpolação, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978). É definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados pelo vetor distância.

A definição teórica dessas ferramentas são baseadas na Teoria das funções aleatórias (JOURNEL & HUIJBREGTS, 1978; ISAKS & SRIVASTAVA, 1989; BRAGA, 1990), que apresenta a estimativa experimental dessas estatísticas. Supondo que  $Z(x)$  represente o valor da variável para o local  $x$ , onde  $x$  é o vetor  $(x,y)$  e  $Z(x+h)$

representa o valor da mesma variável para alguma distância  $h$  (ou “lag”), em qualquer direção. O semivariograma resume a continuidade espacial para todos os pareamentos (comparação de dois valores) e para todos os  $h$  significativos.

Em um semivariograma são estimados: (1) o efeito pepita ( $C_0$ ) - que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores que as amostradas, embora parte dessa descontinuidade possa ser devido aos erros de medição; (2) o patamar ( $C_0 + C_1$ ) - que corresponde ao valor da semivariância correspondente ao seu alcance; (3) o alcance ( $A_0$ ) - que corresponde à distância-limite da dependência espacial, a partir da qual as amostras são consideradas independentes e, por conseguinte, a estatística clássica pode ser usada sem restrição; e (4) a contribuição ( $C_1$ ) - que corresponde à diferença entre o patamar e o efeito pepita e representa a semivariância espacialmente estruturada (CAMBARDELLA *et al*, 1994).

### **3.8. Penetrômetro eletrônico**

Para diagnosticar a compactação usa-se o penetrômetro, aparelho que mede em kPa a resistência do solo a penetração, muito usado atualmente visto que a compactação tem causado perdas nas áreas de produção.

Existem no mercado vários tipos e modelos, desde os mais simples, como o penetrômetro de impacto, muito utilizado no Brasil, que mensuram Índice de Cone (IC) através de cálculos indiretos (BEUTLER *et al*, 2007); os penetrógrafos mecânicos (CARTER, 1967) com manômetro e até os mais práticos que coletam e armazenam dados, como os penetrômetros eletrônicos (MOLIN *et al*, 2006), operados manual ou hidráulicamente.

Para esta pesquisa avaliou-se a resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) ao longo do perfil do solo até a profundidade de 40 cm. Utilizou-se o medidor manual de compactação do solo Falker SoloTrack® PLG1020, com haste e cone tipo 2 com força máxima suportada de 100 kgf e com índice de cone máximo 7.700 kPa, configurado para tomar dados de resistência mecânica do solo à penetração (RMSP) a cada 10 mm ou 1 cm de profundidade com programação para registrar todas as medições. Ao penetrômetro foi acoplado GPS de navegação modelo Garmin GPSmap 60CSx com *datum* WGS84 e sistema de coordenadas UTM para georeferenciamento dos pontos e conectado na porta serial no módulo eletrônico. O protocolo de comunicação com o receptor GPS a ser utilizado é o NMEA 0183, com velocidade de 4.800 bps, 8 bits de dados, 1 stop bit, sem paridade.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo e localização

O trabalho foi conduzido a partir do mês de Fevereiro de 2014 em área experimental Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias, Campus II da Universidade Federal Paraíba, localizada na cidade de Areia - PB e com área estimada em dois hectares.

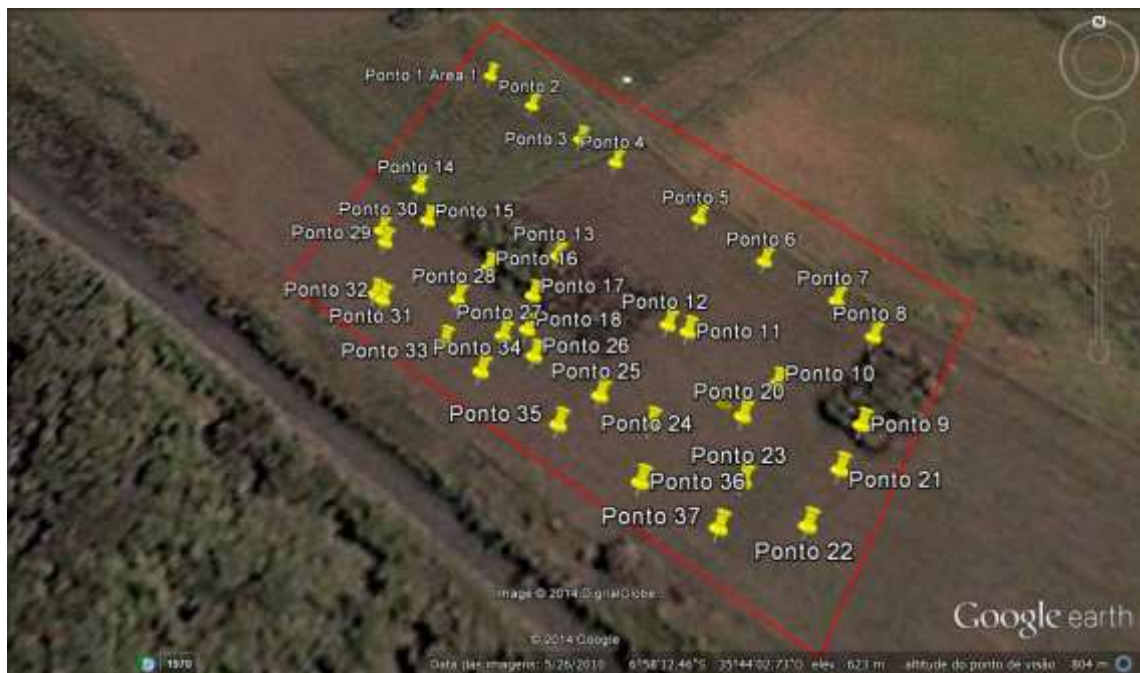
O município de Areia está localizado na Microrregião do Brejo Paraibano na Mesorregião Agreste Paraibano do Estado da Paraíba (Figura 1). Sua Área é 269 km<sup>2</sup> representando 0.4774% do Estado, 0.0173% da Região e 0.0032% de todo o território de Brasileiro (CPRM, 2005). Com as coordenadas 6°58'12.2"S 35°44'01.8"W.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo quente e úmido, com chuvas de outono-inverno, período de estiagem de cinco a seis meses, temperaturas médias variando entre 22 e 26 °C e precipitação pluviométrica anual de 1.400 mm, com umidade relativa de 80% nos meses de Junho e Julho, com vegetação predominantemente do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de floresta subcaducifólia e cerrado/floresta, (BRASIL, 1972).

Foram selecionadas duas áreas para a realização da pesquisa, sendo uma área agrícola com Produção de milho (A1), com recente manejo do solo (aração e gradagem) (Figura 2), e uma área com pastagem (A2), onde eram produzidas gramíneas (*Brachiaria decumbens*) com pastejo rotacionado (Figura 3).



**Figura 1.** Mapa do estado da Paraíba, destacando o município de Areia-PB.



**Figura 2.** Área de produção agrícola com recente manejo do solo (aração e gradagem) localizada em Areia, PB.



**Figura 3.** Área de pastagem com produção de gramíneas (*Brachiaria decumbens*), Areia, PB.





**Figura 4.** Penetrômetro eletrônico.

#### **4.2. Relevo e solos**

Os solos da unidade geoambiental do município de Areia-PB são representados pelos Latossolos vermelho-amarelo distrófico abruptico (FRANCISCO, 2010). Os solos são constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa ou caráter alético, o relevo desta unidade geoambiental é classificado como ondulado a fortemente ondulado (EMBRAPA, 2006).

#### **Amostragem da área**

O perímetro da área foi obtido através de GPS de navegação modelo Garmin GPSmap 60CSx com *datum* WGS84 e sistema de coordenadas UTM. Após a obtenção do perímetro, esses dados foram transferidos ao *software* Compactação do solo® para confecção da grade regular da RMSP utilizando o Penetrolog PLG1020.

#### **4.3. Avaliação da Resistência Mecânica do Solo a Penetração (RMSP)**

Avaliou-se a Resistência do Solo à Penetração (RMSP) na área total e em diferentes profundidades (P) do solo: P1 = 0-10, P2 = 10-20, P3 = 20-30, P4 = 30-40. Para isso foram selecionados 38 pontos em cada área, formando uma grade de 20x20m em um total de 2 ha e, com o auxílio do penetrômetro digital Penetrolog PLG 1020 os dados foram coletados.

A resistência mecânica do solo à penetração é uma propriedade física relativamente fácil de ser obtida e, de certa forma, de ser correlacionada com a densidade e com a macroporosidade. Para um mesmo solo, quanto maior for a densidade do solo, maior será a resistência à penetração e menor será a macroporosidade, que é o principal espaço para o crescimento das raízes. Deve ser levado em conta, no entanto, que a resistência do solo é mais afetada pela variação nos conteúdos de umidade do solo no momento da amostragem do que pela densidade do solo (TORRES & SARAIVA, 1999).

#### **4.4. Determinações físicas do solo**

##### *4.4.1. Textura do solo*

As amostras coletadas foram levadas ao Laboratório de Física do Solo do CCA/UFPB onde a textura foi determinada pelo método do hidrômetro de Bouyoucos (1951), modificado por Day (1965), conforme técnica descrita por Forsythe (1975), utilizando 20 mL de NaOH 1,0 N como dispersante para 40 g de terra fina seca ao ar. A determinação do silte e da argila foi realizada através de leituras com o hidrômetro em função do tempo de sedimentação, enquanto a distribuição granulométrica da fração areia (2,00 - 0,053 mm de diâmetro) foi obtida por tamizagem (Tabela 1).

#### **4.5. Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade, sendo utilizado o *software* estatístico SISVAR 77 Build.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 mostra as quantidades de Areia, Silte, Argila em g.Kg<sup>-1</sup>, que no Latossolo Vermelho Amarelo em que foi realizada a pesquisa apresenta textura argilo arenoso.

**Tabela 1.** Resultado textural do solo coletado no campo experimental da UFPB em Areia-PB e utilizado para a pesquisa foi do tipo Argilo-Arenoso.

Profundidade (m)	Areia	Silte	Argila
	----- g.Kg <sup>-1</sup> -----		
0,11 – 0,20	519	82	399

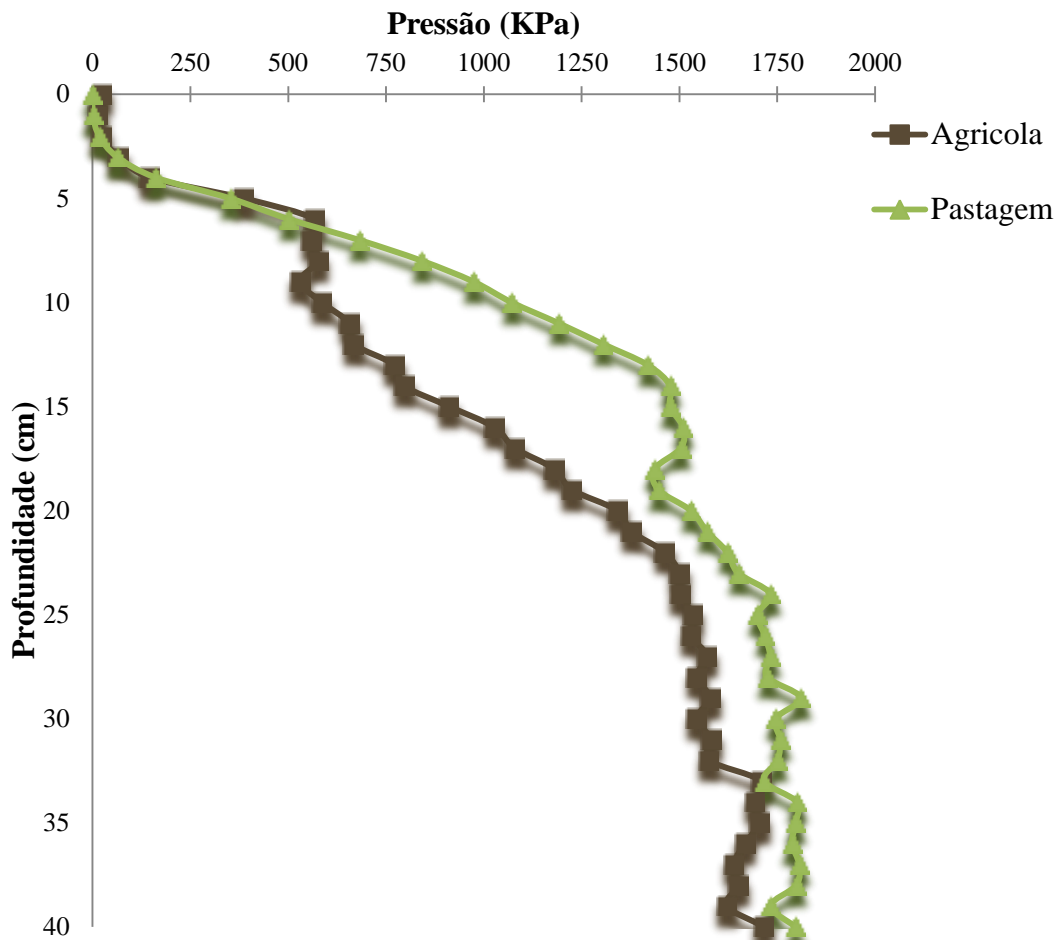
Em função de o solo ter sido apresentado como argilo-arenoso o mesmo em sistemas de plantio convencional, em que a camada superficial do solo é constantemente revolvida, é comum observar aumento de sua macroporosidade, motivo pelo qual a área submetida ao preparo convencional apresentou menor resistência à penetração na superfície do solo, haja vista que a coleta dos dados foi realizada pouco tempo após a aração e gradagem da área. Resultados semelhantes foram obtidos por Prado *et al* (2002), Tormena *et al* (2002) e De Maria *et al* (1999).

A caracterização dos efeitos relativos ao tipo de manejo da área experimental indica um pico de resistência à penetração na área agrícola na profundidade de 0,5-0,35 m, podendo esta compactação ser resultante do preparo do solo (convencional) e para o sistema de pastagem na profundidade de 0,5-0,30, devido ao pisoteio excessivo promovido pelos animais durante o pastejo, sendo que estes resultados são concordantes com Peña *et al* (1996) e Tormena & Roloff (1996). O fato das alterações, devido ao pastejo animal na densidade do solo, se concentrarem nas camadas de 0,7-0,30 cm (Figura 1). A pressão exercida pelos animais sobre o solo pode atingir valores da ordem de 350 a 400 KPa (PROFFITT *et al*, 1993; BETTERIDGE *et al*, 1999), que podem ser duplicados quando o animal está em movimento (NIE *et al*, 2001).

A fim de promover uma análise mais significativa das diferenças de resistência do solo à penetração, consideramos uma discussão dos comportamentos apresentados a cada 10 cm de profundidade. Como observado na Figura 5, às duas áreas analisadas apresentaram dados semelhantes quanto à baixa resistência à penetração, considerando uma profundidade de até aproximadamente de sete centímetros. Esse fenômeno pode ser explicado uma vez que as técnicas de tratamento de solo tinham sido



recentemente realizadas no terreno de atividades agrícolas, como por exemplo, aragem e grade.



**Figura 5.** Resistência média do solo à penetração ao longo do perfil do solo até 40 cm de profundidade, em área agrícola e de pastagem.

O ato de revolver constantemente o solo promove o aumento de sua macroporosidade, permitindo, portanto que a área apresente menor resistência à penetração na superfície do solo. Alguns pesquisadores apresentam dados semelhantes em seus trabalhos (DE MARIA *et al*, 1999; PRADO *et al*, 2002; TORMENA *et al*, 2002). Enquanto no solo de pastagem a presença de gramíneas favoreceu a baixa resistência à penetração, uma vez que as raízes desse tipo vegetação são características por não atingirem grandes profundidades, o que facilita a penetração do solo nas camadas mais superficiais. Alguns autores em seus trabalhos, além da influência radicular da vegetação, relatam outros fatores que podem contribuir para os baixos índices de resistência do solo à penetração nas camadas iniciais do solo utilizado para

pastagem, como por exemplo, a densidade do solo e atributos químicos (V. R. SILVA(2), D. J. REINERT(3) & J. M. REICHERT. 2000).

Quando consideramos as profundidades do solo variando entre 10 e 20, observamos comportamentos bem discrepantes entre as duas áreas, principalmente na altura aproximada de 15 centímetros de profundidade. Embora o aumento à resistência do solo à penetração seja um comportamento já previsto, a área de pastagem teve uma resistência significativamente maior quando comparado à área de atividade agrícola (estatisticamente não foi significativo). Essa situação em especial nos forneceu dados bastante importantes uma vez que evidenciou os danos causados pelo pisoteio animal no solo, pois a resistência do solo à penetração aumentou em função da compactação das partículas do mesmo causadas pelo pisoteio dos animais. Dados semelhantes foram observados nos estudos de (IMHOFF; SILVA; TORMENA, 2000a, 2000b).

O teor de matéria orgânica é caracterizado como um dos fatores responsáveis pela manutenção das condições físicas do solo e também influencia a resposta dos solos à compactação ASSOULINE, 1997; TAVARES FILHO, 1997; TESSIER, 1997; DIAS JUNIOR *et al*, 1999). Além disso, segundo Hakansson, Voorhees e Riley (1988), o sistema de preparo convencional do solo ocasiona compactação subsuperficial em virtude da mobilização e descompactação mecânica da camada mobilizada, ao mesmo tempo em que a carga aplicada apresenta efeito acumulativo em subsuperfície ao longo dos anos.

Nas profundidades de 20 a 30 centímetros foi observado um aumento gradativamente linear da resistência do solo à penetração, apresentando um comportamento padrão entre as duas áreas, porém, graças a o contato dos implementos de corte com o solo e pressão do rodado no sulco em aração, camadas mais profundas eram compactadas, denominando-se “pé-de-grade” ou “pé-de-arado”, como constatado por Stone & Silveira (1999), Silva et al. (2003), Reichert et al. (2003) e Alves & Suzuki (2004). O “pé- de-grade” ou “pé-de-arado” ocorre, portanto, abaixo da camada arável, que é a aproximadamente 20 cm de profundidade (Silva, 2003). Podendo ultrapassar os 30cm.

**Tabela 2.** Pressão média (kpa)  $\pm$  Erro padrão em diferentes profundidades e na área total (AT) de duas áreas com exploração agropecuária. Areia, PB.

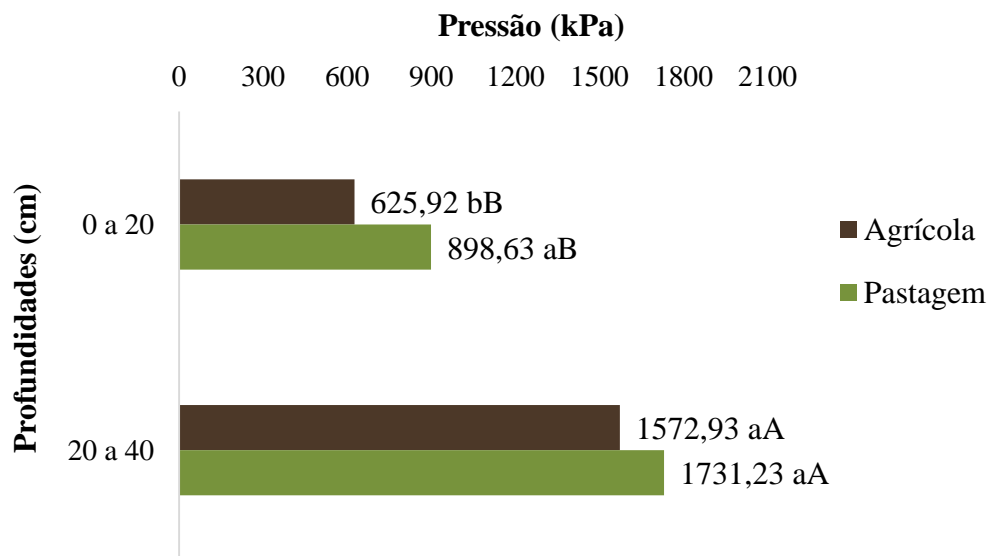
Áreas	Profundidades (cm)		AT
	0-20	21-40	
Agrícola	625,92 $\pm$ 67,94 bB	1572,93 $\pm$ 76,04 aA	1099,43 $\pm$ 134,60 a
Pastagem	898,63 $\pm$ 42,75 aB	1731,23 $\pm$ 79,04 aA	1314,93 $\pm$ 130,55 a

Pressão média (kPa) em diferentes profundidades de duas áreas com exploração agropecuária. Areia, PB. Médias seguidas de mesma letra minúscula e maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey  $<0,01$ .

Já quando consideramos as profundidades de 31 a 40 centímetros, atipicidades surpreendem o comportamento esperado para a resistência do solo à penetração, uma vez que são observadas oscilações em ambas as áreas. Esse fenômeno em alguns pontos de profundidade, como a, aproximadamente, 33 e 38 centímetros chegam a apresentar níveis iguais ou equivalentes de resistência do solo à penetração isto pode ser explicado pelo fato de que a partir dos 30 cm de profundidade os implementos agrícolas não agem como nas camadas superiores, portanto é comum que ao longo do tempo as camadas mais profundas do solo se tornem mais resistentes a penetração do mesmo, isso também acontece com a área de pastagem que após os 10 cm onde se encontra a maior parte das raízes, a partir deste ponto aumenta a ocorrência de camadas com maior resistência mecânica do solo a penetração, como foi observado no trabalho de Moreira et al. (2005).

Em relação à pressão na área total (AT) não houve diferença estatística para as duas áreas, em que os valores oscilaram de 1099,43 a 1314,93 para a área agrícola e pastagem, respectivamente (Tabela2).

Observou-se que a pressão na profundidade de 0-20 cm foi maior na pastagem, apresentando-se com valores médios de 898,63 kPa. Já na profundidade de 21-40 cm não houve diferença estatística entre a pressão nas áreas. Quando se avaliou a pressão entre as profundidades em cada área, verificou-se que a pressão é maior em profundidades de 21 - 40 cm em ambas as áreas, com valores de 1572,93 kPa e 1731,04 kPa (Figura 6). Em relação à pressão na área total (AT) não houve diferença estatística para as duas áreas, onde os valores oscilaram de 1099,43 a 1314,93 para a área agrícola e pastagem, respectivamente.



**Figura 6.** Pressão média (kPa) em diferentes profundidades de duas áreas com exploração agropecuária. Areia, PB. Médias seguidas de mesma letra minúscula e maiúscula não diferem entre si pelo teste de Tukey  $<0,01$ .

O gráfico acima mostra que na área agrícola a pressão média de todos os pontos nas profundidades de 0-20 cm expôs uma pressão em torno de 600 kPa. Essa média baixa pode ser explicada pelo fato de que se encontra em uma camada subsolada e arada, removendo resistência inicial do solo. Esses resultados encontram-se em consonância com o trabalho de Beutler *et al.* (2001), o qual verificou um gradiente crescente de resistência à penetração com o aumento da profundidade.

No setor de pastejo animal a relação feita entre a pressão e o erro padrão se comporta de forma inversa, quanto maior a pressão menor o erro padrão, correlacionado com a pressão existente nas camadas de 0-20 cm, temos que a média da área em todos os pontos da pastagem foi 898,63 kPa causado pelo pisoteio animal. De acordo com Cardoso & Freitas (1992) e Tisdall (1994), o sistema radicular das gramíneas, formam uma extensa malha de raízes e hifas entrelaçadas, as quais prendem os microagregados e mantêm os macroagregados intactos sem que sofram colapso, com a presença de água, mantendo assim o solo descompactado.

Enquanto o comportamento das camadas de 20-40 cm na área agrícola obteve média de 1572,93 kPa mostrando que, em níveis mais profundos o acumulo de cargas causadas pelos rodados dos tratores, quanto dos implementos, originam no solo agregamento das partículas, pois ao longo do tempo pode causar bloqueio mecânico do solo a penetração sob fluxo constante de tráfego de veículos pesados, como encontrado

no trabalho de Reichert *et al* (2007) o comportamento das áreas de manejos distintos estudadas nesta relação de média proporciona uma interpretação pela qual se pode entender que estas camadas apresentam o mesmo nível de pressão, e esta relação pode ser explicada pela dinâmica do baixo fluxo de agentes distintos compactadores de solo.

Na pastagem o agente causador da compactação nestas camadas é o pisoteio dos animais que por possuírem uma área de superfície de contato com o solo pequena, age diretamente em camadas mais profundas onde segundo Cardoso & Freitas (1992) e Tisdall (1994), as raízes não conseguem desenvolver seu papel no sentido de descompactar o solo reorganizando suas partículas.

## **6. CONCLUSÕES**

Área de pastagem apresentou maior resistência à penetração do solo em relação à área de produção agrícola.

Maiores resistências à penetração do solo em áreas de pastagem e áreas agrícolas são observadas a partir de profundidades médias de 20 a 40 cm.

Mesmo a área agrícola apresentando menor valor de resistência à penetração do solo que a área de pastagem as mesmas apresentaram níveis de resistência à penetração muito próxima.

## 7. REFERÊNCIAS

- ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effects of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results modeling. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, p.390-398, 1997.
- ALVES, M .C. & SUZU KI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Sci.**, 26:27-34, 2004.
- BETTERIDGE, K.; MACKAY, A.D.; SHEPHERD, T.G.; BARKER, D.J.; BUDDING, P.J.; DEVANTIER, B.P. & COSTALL, D.A. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. **Aust. J. Soil Res.**, 37:743-760, 1999
- BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 167-177, jan./fev., 2001.
- BRAGA, L.P.V. **Geoestatística e aplicações**. Departamento de Métodos Estatísticos, UFRJ, 1990. 36p.
- CARDOSO, E. J. B .N.; FREITAS, S.S. A rizosfera. In: CARDOSO. E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. (Ed). **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. Cap. 19. p. 41-57.
- CARVALHO, L.A.; NETO, V.J.M.; SILVA, L.F.; PEREIRA, J.G.; NUNES WAGA & CHAVES, C.H.C.; Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante- MS. **Revista Agrarian**, v.1, p.07-22, 2008.
- CARVALHO, J.R.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.8, p.1151-9, 2002.

CAMARGO, W. P.; SOUZA, A. B. M.; NAGUMO, G. K.; MOLIN, J. P. **Análise da produtividade espacial de mapas de produtividade**. In: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, Piracicaba, Esalq/USP, 2004. A

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

CORÁ, J.E. The potential for site-specific management of soil and yield variability induced by tillage. East Lansing, **Michigan State University**, 1997. 104p. (Tese de Doutorado).

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 58:1501-1511, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006. P.7

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. de; BULL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.49-57, 2006.

FUENTES, R. L.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J. ; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos diferentes sistemas de preparo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 2, p. 205-220, 2006.

FRANCISCO, PAULO ROBERTO MEGNA. Classificação e mapeamento de mecanização do estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas. **Areia, UFPB**, 2010. 107 p.

FREITAS, V. A. de. Análise de dados espaciais por meio de semivariogramas. Uberlândia: **Universidade Federal de Uberlândia**, 2000. 27 p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S.R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.29, p.169-177, 2005.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.R.; RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.11, p.239-282, 1988.

ISAAKS, E.H., SRIVASTAVA, M. An introduction to applied geostatistics. **Oxford Univ. Press**. New York, 1989. 600p.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 35, n. 7, p. 1493-1500. 2000b.

JOURNEL, A. C.; HUIJBREGTS, C.J. Mining geostatistics. **London: Academic**, 1978. 600 p.

KITAMURA, A, E. Inter-relações da variabilidade espacial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto, **Ilha Solteira**, 2004, 109 p.

LIMA, F. V. Análise espacial de atributos físicos do solo: processo de degradação em área de encosta. - Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - **Centro de Ciências Agrárias**. UFPB, Areia, 2013. 67f.: il.

LARSON, W.E.; EYNARD, A.; HADAS, A. & LIPIEC, J. Control and avoidance of soil compaction. In: SOANE, B.D. & van OUWERKERK, C., eds. Soil compaction in crop production: developments in agricultura engineering. **Amsterdam, Elsevier**, 1994. p. 597-625p.

LAMPARELLI, Rubens A. C.; ROCHA, Jansle V.; BORGHI, Elaine. Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações. **Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária**, 2001.



MACEDO V.R.M; SILVA, A.J.N, & CABEDA, M.S.V. (2010) Influência de tensões compressivas na pressão de precompactação e no índice de compressão do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 14:856-862.

MARCHÃO, R.L; BALBINO, L.C; SILVA, E.M; SANTOS, Jr. J.D.G; SÁ MAC, Vilela L & Becquer T (2007) Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:873-882.

MANTOVANI, E.C.; QUEIROZ, D.M.; DIAS, G.P. Máquinas e operações utilizadas na agricultura de precisão. In: SILVA, F. M. da.(Coord.). Mecanização e agricultura de precisão. **Poços de Caldas : UFLA/SBEA**, 1998. p.109-157.

MIGUEL, JOSE REICHERT. et al, compactação do solo em sistemas agropecuarioise florestais: identificação,efeitos, limites críticos e mitigação. **UFSM**. 2007, 121p.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. B.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiás**, v. 35, n. 3, p. 155-161. 2005.

NIE, Z.N.; WARD, G.N. & MICHAEL, A.T. Impact of pugging by dairy cows on pastures and indicators of pugging damage to pasture soil on South – **Western Victoria. Aust. J. Soil Res.**, 52:37-43, 2001.

NOLASCO, SILVIO DE OLIVEIRA NETO, et al, Sistema Agrosilvipastoril: integração lavoura, pecuária e floresta, **Viçosa, MG**,190p, 2010.

OVALLES, F.; REY, J. Variabilidad interna de unidades de fertilidad en suelos de la depresión Del Lago de Valencia. **Agronomia Tropical, Maracay**, v.44, n.1, p.41-65, 1994.

Peña, Y.A.; Gomes, A.S.; Souza, R. O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v.20, n.3, p.517-523, 1996.

PIMENTEL-GOMEZ, F. & GARCIA, C.H. Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. **Piracicaba, FEALQ**, 2002. 309p.

PRADO, R. M.; Roque, C. M.; Souza, Z. M. Sistemas de preparo e resistência a penetração e densidade de um Latossolo Vermelho eutrófico em cultivo intensivo e pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.1795-1801, 2002.

PROFFITT, A.P.B.; BENDOTTI, S.; HOWELL, M.R. & EASTHAM, J. The effect of sheep trampling and grazing on soil physical properties and pasture growth for a Red – Brown earth. **Aust. J. Agric. Soil Res.**, 44:317-331, 1993.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO L. C., Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p. 381–384, 2008.

REICHERT, J.M.; REINER T, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **R. Ci. Amb.**, 27:29-48, 2003.

RESENDE SILVA,A; DIAS JUNIOR, M.S & LEITE, F.P (2011) Avaliação da intensidade de tráfego e carga de um forwarder sobre a compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Árvore**, 35:547-554.

RESENDE, J.O. Compactação e adensamento do solo: metodologias para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DE SOLO**, 26., Rio de Janeiro, 1997. Palestras. Rio de Janeiro, SBCS/EMBRAPA, 1997. CD-ROOM

ROBOREDO, D., MAIA, J.C.S., OLIVEIRA, O.J. & ROQUE, C.G. (2010) Uso de dois penetrômetro na avaliação da resistência mecânica de um Latossolo vermelho distrófico. **Engenharia Agrícola**, 30:307-314

SANTOS, H. G. dos; COELHO, M. R; ANJOS, L. H. C. dos; JACOMINE, P. K. T.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; OLIVEIRA, J. B. de; CARVALHO, A P.

de C; FASOLO, P. J. Propostas de revisão e atualização do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. **Embrapa Solos**. Documentos; n. 53. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 56p.

SIMÕES, W.L.; SILVA, E.L.; LIMA, D.M.; OLIVEIRA, M.S. Variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.30, p.1061-1068, 2006.

SILVA, JOSE MARCILIO, Métodos geoestatísticos no estudo de atributos químicos e físicos do solo em dois sistemas de cultivo de soja no cerrado, **UFES**, 2006.

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; STORCK, L. & FEIJÓ, S. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:1013-1020, 2003.

SILVA, R.B.; DIAS JUNIOR, M.S.; SILVA, F.A.M. & FOLE, S.M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:973- 983, 2003.

SILVA, V.R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Santa Maria, **Universidade Federal de Santa Maria**, 2003. 171p.

SOUZA, MAURICIO NOVAES, Degradação e recuperação ambiental e desenvolvimento sustentável/ Mauricio Novaes Souza. –**Viçosa: UFV**, 340p,2004.

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery: Soil physical and mechanical aspects. **Soil & Tillage Research**, v.93, p.28-43, 2007.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro -1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-12, 2002.

STONE, L.F. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, 34:83-91, 1999.

STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, **Santa Maria**, v.34, n.3, p.755-60, 2004.

SUZUKI, L.E.A.S; REICHERT, J.M; REINERT, D,J & LIMA, C.L.R; (2007) Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:1159-1167

TABOADA, M. A.; ALVAREZ, C. R. Abundância de raízes de milho (*Zea mays* L.) em solos de Argentina sob preparo convencional e plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.769-779, 2008.

TISDALL, J. M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant end soil**, v. 159, p. 115-121, 1994.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.333-339, 1996.

TORRES, E. & SARAIVA, O.F. Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com a soja. Londrina, **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 1999. 58p. (Circular Técnica, 23).

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.38, n.1 p.45-94, 1985.

V. R. SILVA(2), D. J. REINERT(3) & J. M. REICHERT R. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo **R.Bras. Ci. Solo**, UFSM. 24:191-199, 2000.

ZIMBACK, C. R. L. Geoestatística. Botucatu: **FCA/UNESP**, 2003. 25 p.